

ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Д. П. Михалевич

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Ю. А. Козусев, Э. М. Виноградов

Феррозонд – устройство, чувствительное к внешним постоянным и медленно меняющимся магнитным полям, содержащее ферромагнитные сердечники и обмотки, распределенные по их длине. Происходящие в феррозонде процессы связаны с существованием внешнего измеряемого поля и некоторого вспомогательного поля, образуемого за счет тока в одной из обмоток. Взаимодействие этих полей в объеме сердечников, изготавливаемых из легко насыщающихся магнитных материалов, приводит к появлению в измерительной обмотке ЭДС, по величине которой и судят о напряженности внешнего поля и создающего это поле измеряемого тока.

Феррозонды отличаются друг от друга по режиму работы, по способу наложения вспомогательного поля, по конструктивному исполнению в зависимости от диапазона и частотного спектра измеряемых полей, условий, в которых проводятся измерения, особенностей применяемых измерительных преобразователей [1].

В первом режиме работы по цепи возбуждения феррозонда протекает слабый переменный и достаточно сильный постоянный ток. Переменный ток образует поле $H_1 = H_m \cdot \sin(\omega t)$, которое настолько мало, что не оказывает или почти не оказывает влияния на величину дифференциальной проницаемости сердечников μ_d^* . Напротив, постоянный ток создает поле H_2 , которое изменяет величину μ_d^* . Обычно поле H_2 выбирается таким, чтобы рабочие точки сердечников оказались на участках наибольшей крутизны функции $\mu_d^*(H)$ (рис. 1).

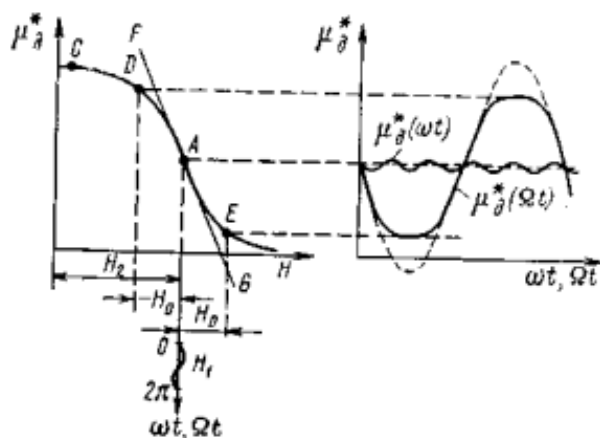


Рис. 1. Зависимости $\mu_d^*(H)$ и $\mu_d^*(\omega t)$ при первом режиме работы феррозонда

На рис. 1 рабочей точкой является точка A . Измеряемое поле H_0 , алгебраически суммируясь с H_2 , перемещает рабочую точку на участке DE и уменьшает дифференциальную проницаемость в одном из сердечников и увеличивает ее в другом. Из-за различия проницаемостей сердечников баланс индукций нарушается, что приводит к появлению во вторичной обмотке феррозонда ЭДС, пропорциональной величине разбаланса, а следовательно, и величине измеряемого поля.

Эффективность управления проницаемостью зависит от крутизны функции $\mu_d^*(H)$ в точке A (касательная FG). Если бы поле H_2 оказалось слабым и рабочая точка переместилась из A в C , то поле H_0 не смогло бы эффективно управлять проницаемостью μ_d^* .

Во втором режиме по цепи возбуждения феррозонда протекает только переменный ток. Амплитуда этого тока такова, что создаваемое им поле $H_1 = H_m \sin(\omega t)$ периодически доводит сердечники до состояния магнитного насыщения. Напротив, измеряемое поле H_0 настолько мало, что его наличие существенно не меняет общей картины перемагничивания сердечников. Сущность работы феррозонда в этом режиме ясна из рис. 2.

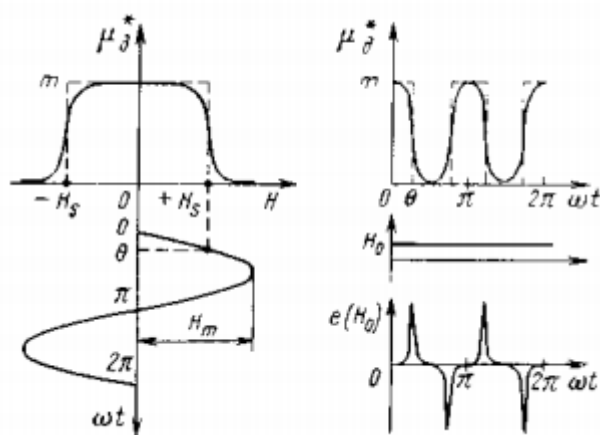


Рис. 2. Зависимости $\mu_d^*(H)$, $H(\omega t)$, $\mu_d^*(\omega t)$ и $e(\omega t)$ при втором режиме работы феррозонда

Если $H_m > H_s$, где H_s – поле насыщения сердечников, то величина μ_d^* периодически изменяется от максимального (при $H_1 = 0$) до минимального (при $H_1 = H_m$) значений. Эти изменения происходят с удвоенной частотой, так как $\mu_d^*(H) = \mu_d^*(-H)$. Изменяющаяся во времени проницаемость при наличии постоянного поля H_0 приводит к пульсирующей индукции. Пульсации индукции происходят также с удвоенной частотой, причем амплитуда пульсаций пропорциональна напряженности поля H_0 . Эти пульсации и вызывают появление во вторичной обмотке феррозонда ЭДС $e(H_0)$ удвоенной частоты. ЭДС $e(H_0)$ пропорциональна скорости изменения проницаемости μ_d^* . Однако на участке $\omega t = 0 - \pi/2$ (рис. 2), что соответствует изменению от максимального до минимального значений, эта скорость непостоянная. При $\omega t \approx 0$ и $\omega t \approx \pi/2$ скорость изменения μ_d^* стремится к нулю, при $\omega t \approx \theta$ (угол насыщения сердечников) эта скорость достигает максимального значения. По этой причине форма ЭДС $e(H_0)$ даже при наличии слабого поля H_0 отлична от синусоидальной и имеет вид острых пиков.

Второй режим имеет ряд преимуществ по сравнению с первым. Основное преимущество – четногармонический спектр сигнала, который позволяет улучшить соотношение сигнал/помеха, так как помеха, обусловленная разбалансировкой феррозонда, характеризуется во втором режиме нечетногармоническим спектром ЭДС. Другим преимуществом данного режима является обеспечение устойчивости нуля феррозондов, которая обусловлена тем, что при большой амплитуде поля возбуждения перемещение сердечников осуществляется по предельной петле гистерезиса.

Независимо от выбранного режима работы феррозонды могут быть разделены по способу наложения вспомогательного переменного поля на феррозонды с продольным и поперечным возбуждением [1].

Феррозонд с продольным возбуждением (рис. 3, а) чаще всего выполняется в виде двух ферромагнитных сердечников с распределенными по их длине первичными и общей вторичной обмотками. Встречное включение первичных обмоток приводит к тому, что в отсутствие измеряемого поля ЭДС, наводимая во вторичной обмотке, близка к нулю. При наличии измеряемого поля баланс между потоками в первом и втором сердечниках нарушается и во вторичной обмотке появляется ЭДС, пропорциональная продольной компоненте внешнего поля.

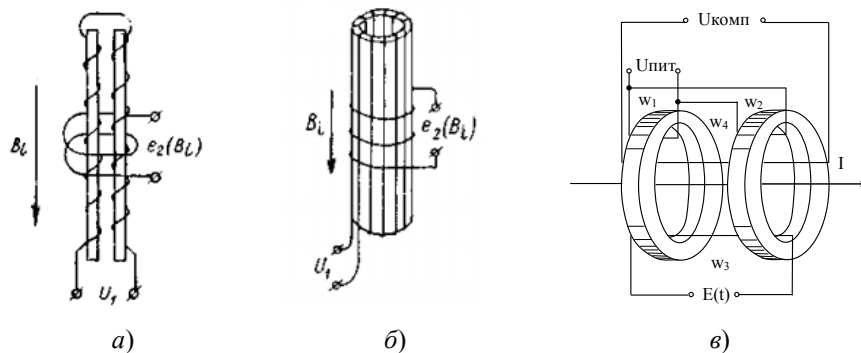


Рис. 3. Феррозонд:

а – с продольным возбуждением; б – с поперечным;
в – разработанный феррозонд

В феррозонде с поперечным возбуждением в качестве сердечника использована пермаллоевая трубка, по которой протекает переменный ток, создающий циркулярное (поперечное к продольной оси проволоки) магнитное поле, периодически намаг-

ничающую трубку. В направлении продольной оси трубки нанесена измерительная обмотка, в которой при наличии внешнего поля наводится полезная ЭДС.

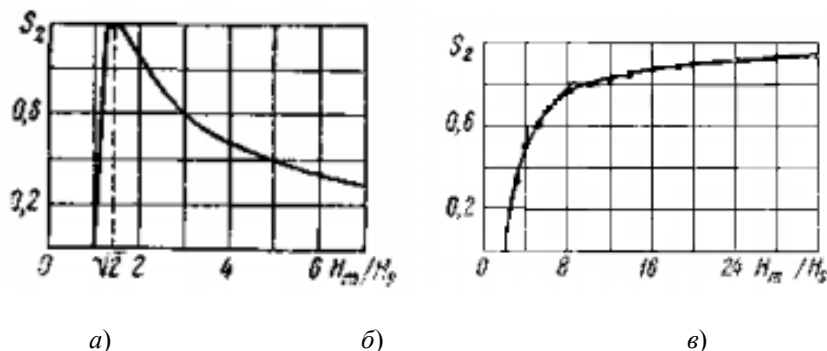


Рис. 4. Зависимости чувствительности феррозонда от амплитуды поля возбуждения:
а – с продольным возбуждением; б – с поперечным

Сопоставляя зависимости чувствительностей феррозонда с продольным и поперечным возбуждением от амплитуды поля возбуждения, можно сделать вывод о том, что чувствительность феррозонда с поперечным возбуждением при прочих равных условиях всегда меньше чувствительности феррозонда с продольным возбуждением. Лишь при очень большой амплитуде поля возбуждения чувствительности обоих типов феррозондов близки одна к другой.

В результате исследования была выбрана представленная на рис. 3, в схема феррозонда с продольным возбуждением [2], [3]. Феррозонд выполнен на двух кольцевых сердечниках из феррита марки М2000НМ. Питающее напряжение подключено к первичным обмоткам ($w_1 = w_2 = 150$ витков) и создает магнитные потоки. Компенсационная обмотка ($w_4 = 50$ витков) предназначена для компенсации магнитного поля измеряемого тока. Четные гармоники наведенной в измерительной обмотке ЭДС суммируются, формируя сигнал $E(t)$, пропорциональный измеряемому току.

Литература

1. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 167 с.
2. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин. – М. : Атомиздат, 1974. – 156 с.
3. Михалевич, Д. П. Бесконтактный измеритель постоянных токов / Д. П. Михалевич / Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы VIII междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и магистрантов, Гомель, 28–29 апр. 2008 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – С. 189–191.